

# Cell-Free mMIMO 시스템의 DRL 기반 최적화 알고리즘에 관한 연구 동향

송치현, 이동현, 오준석, 허동현, 서정택\*, 경연웅\*\*, 조성래

{chsong, dhlee, jsch, dhur}@uclab.re.kr, seojt@gachon.ac.kr, ywkyung@kongju.ac.kr, srcho@cau.ac.kr

## Study on DRL based Optimization Algorithm for Cell-Free Massive MIMO System

Chihyun Song, Donghyun Lee, Junsuk Oh,

Donghyeon Hur, Jungtaek Seo\*, Yeunwoong Kyung\*\*, and Sungrae Cho

Department of Computer Science and Engineering, Chung-Ang University

\*Department of Computer Engineering, Gachon University

\*\* Division of Information & Communication Engineering, Kongju University

### 요약

Massive MIMO는 각 기지국에 위치한 매우 많은 수의 안테나를 통해 동일 시간 및 주파수 자원을 사용하여 사용자에게 서비스를 제공하는 기술임. 이를 통해 하향링크에서 송신 프리코딩을 사용하여 각각의 신호를 원하는 단말에 집중하거나, 상향링크에서 수신 신호와 결합 벡터를 조합하여 서로 다른 단말들로부터 송신된 신호를 구분 가능한 기술임. Reconfigurable Intelligent Surface (RIS)는 기지국으로부터 신호가 차단되어 직접 신호를 수신할 수 없는 사용자에게 적절히 반사 시킬 수 있으면 자기 간섭 없이 Full-duplex로 동작 가능하여 낮은 에너지 소비와 동시에 높은 데이터 속도를 지원하는 기술임. 본 논문에서는 RIS를 지원하는 massive MIMO 환경에서 최적 성능을 달성하기 위해서 채널 추정 기법에 관한 연구 동향을 조사하였음.

### I. 서론

Massive MIMO 시스템은 시분할 이중화(TDD)를 통해 동일 시간, 주파수 자원을 사용하여 상향링크 및 하향링크 전송을 진행함. 이에 따라 채널 상태가 coherence interval 내에 양방향에서 같다는 특징을 가지고 단말이 상향링크를 통해 파일럿 신호를 전송함으로써 채널 추정을 진행한 다음 이 추정값을 사용해 페이로드 데이터의 상향링크 결합 벡터 및 하향링크 전송 프리코딩 벡터를 계산함[1]. 이때 Massive MIMO 시스템은 사용자가 많고 사용 가능한 파일럿의 수가 적을 때, 일부 사용자가 동일한 파일럿을 사용하게 되어 파일럿 오염(Pilot contamination) 현상을 겪으며, 채널 추정의 정확도가 낮아져 전체 시스템 성능의 하락을 초래함. RIS는 표면의 성질을 적절히 조절하여 반사되는 신호의 위상을 변화시키는 기술임. 이러한 RIS에는 Passive RIS 이외에 신호 세기를 증폭시키는 Active RIS, 반사 및 투과 정도를 조절할 수 있는 Simultaneous Transmit and Reflection RIS (STAR-RIS) 등이 존재함. 전체 시스템 최적화를 위해서 RIS 요소의 최적제어가 필요하지만, RIS의 진폭 및 위상 제어는 기지국-RIS-단말 간의 계단식 채널로 인해 정확한 채널 추정이 어려우며 이는 최적제어 알고리즘 설계에 있어 해결하기 어려운 문제임. 따라서 본 논문에서는 RIS 지원 Massive MIMO 시스템에서 채널 추정 기법에 관한 최신 연구 동향을 조사하였음

### II. 본론

RIS 지원 Massive MIMO 시스템은 massive MIMO를 통한 신호 처리 이득과 RIS를 통해 무선 전파 환경을 재구성하여 장애물이나 건물에 의해

발생하는 신호의 차단 및 쇠퇴 효과를 줄임으로써 네트워크의 성능을 크게 향상시킬 수 있다는 장점이 있음. 특히 다수의 RIS 요소를 통해 진폭 및 위상을 제어하여 간섭 신호 제거 및 3차원 Passive 빔포밍을 달성할 수 있음[2]. 그러나 채널 추정 단계에서 RIS는 파일럿 신호를 전송할 수 없다는 문제가 존재하며 이는 RIS가 존재하는 시스템에서 신호 처리를 어렵게 만드는 요인임. 이에 따라 [3]에서는 RIS 지원 mMIMO 시스템에서 two-timescale 채널 추정 기법을 제안함. 이는 RIS와 단말 간 채널은 이동성 및 장애물에 따라 빠르게 변화하지만, RIS와 기지국 간 채널은 고정된 위치에 의해 느리게 변화한다는 특징을 고려하여 RIS의 빔포밍은 채널 상태의 통계량에 기반하여 최적화하고 기지국의 빔포밍은 순간적인 채널 상태에 따라 최적화하는 알고리즘을 제안함. 시뮬레이션 결과를 통해 RIS 요소 간 거리가 충분히 크고 electromagnetic interference (EMI)가 약한 경우 EMI가 없는 모델이 충분히 정확하다는 것을 보여줌. 공간 상관관계가 있는 경우, RIS가 무선 채널 환경을 더 잘 조절할 수 있음을 보임. 그러나 two-timescale 채널 추정은 통계적 채널 특성에 의한 최적화는 성능 저하가 많으며 때때로 지나치게 긴 채널 추정 시간을 가짐. [4]에서는 지나치게 긴 파일럿 시퀀스를 채택하여 기지국-RIS 채널 및 RIS-사용자 채널을 추정하는 문제를 해결함. 저렴한 훈련 오버헤드로 계단식 채널을 추정하기 위해 RIS 지원 다중 사용자 MIMO 시스템의 채널 추정 문제를 행렬 보정 기반 행렬 인수분해 작업으로 공식화함. 단말 이동성으로 인해 빠르게 변하는 RIS-사용자 채널 대비 RIS-기지국 채널은 느리게 변하며 이러한 정보와 채널 회소성 정보를 이용하여 Cascaded 채널을 인수분해하는 채널 추정 알고리즘을 제안하였으며 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리

증이 높은 정확도와 효율성을 보임. [5]에서는 RIS의 평면 구조에 따른 RIS 요소 간의 공간 상관관계가 시간에 따라 변하지 않는다는 사실을 활용하여 cell-free massive MIMO 환경에서 채널 추정에 필요한 오버헤드를 줄이기 위한 집계 채널 추정 접근 방식을 제안함. 이를 통해 상향링크 및 하향링크의 통신 처리량을 채널 통계량의 함수로 공식화함. 시뮬레이션 결과는 RIS 요소의 최적화를 통한 채널 추정 품질 향상으로 인해 시스템 성능이 향상됨을 보이며 기지국과 사용자 간 직접 링크의 채널 상태가 충분히 좋지 않은 경우 RIS를 사용하는 것의 이점을 보여줌.

### III. 결론

본 논문에서는 RIS 지원 Massive MIMO 시스템에서 최적 성능을 달성하기 위한 채널 추정 기법에 관한 최신 연구 동향을 조사하였으며, 시스템의 성능을 측정하는 다양한 연구 동향을 조사하였음.

### ACKNOWLEDGMENT

“본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터사업의 연구결과와 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행되었음”  
(IITP-2024-RS-2022-00156353, No. 2021-0-00493, 5G Massive 차세대 사이버공격 기반기술 개발)

### 참 고 문 헌

- [1] E. Björnson, E. G. Larsson and T. L. Marzetta, “Massive MIMO: ten myths and one critical question,” in *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 2, pp. 114-123, February 2016, doi: 10.1109/MCOM.2016.7402270.
- [2] Q. Wu and R. Zhang, “Towards Smart and Reconfigurable Environment: Intelligent Reflecting Surface Aided Wireless Network,” in *IEEE Communications Magazine*, vol. 58, no. 1, pp. 106-112, January 2020, doi: 10.1109/MCOM.001.1900107.
- [3] H. Liu, X. Yuan and Y. -J. A. Zhang, “Matrix-Calibration-Based Cascaded Channel Estimation for Reconfigurable Intelligent Surface Assisted Multiuser MIMO,” in *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 38, no. 11, pp. 2621-2636, Nov. 2020, doi: 10.1109/JSAC.2020.3007057.
- [4] A. Ashikhmin and T. Marzetta, “Pilot contamination precoding in multi-cell large scale antenna systems,” 2012 *IEEE International Symposium on Information Theory Proceedings*, Cambridge, MA, USA, 2012, pp. 1137-1141, doi: 10.1109/ISIT.2012.6283031.
- [5] T. Van Chien, H. Q. Ngo, S. Chatzinotas, M. Di Renzo and B. Ottersten, “Reconfigurable Intelligent Surface-Assisted Cell-Free Massive MIMO Systems Over Spatially-Correlated Channels,” in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 21, no. 7, pp. 5106-5128, July 2022, doi: 10.1109/TWC.2021.3136925.